

半導体レーザーのモード制御に関する研究

著者	中込 真二
号	951
発行年	1983
URL	http://hdl.handle.net/10097/9687

氏 名	なか ひとし 眞 二
授 与 学 位	工 学 博 士
学位授与年月日	昭和 59 年 3 月 27 日
学位授与の根拠法規	学位規則第 5 条第 1 項
研究科，専攻の名称	東北大学大学院工学研究科 (博士課程) 電子工学専攻
学 位 論 文 題 目	半 導 体 レーザのモード制御に関する研究
指 導 教 官	東北大学教授 西澤 潤一
論 文 審 査 委 員	東北大学教授 西澤 潤一 東北大学教授 西田 茂穂 東北大学教授 小野 昭一

論 文 内 容 要 旨

半導体レーザでは効率，劣化が格子欠陥に支配されるため完全性の高い結晶が必要で精密に格子整合されることが要求される。本研究では，西澤により提案された完全性の高い結晶を得ることができる蒸気圧制御温度差法により成長を行ない，また，GaAs と GaAlAsP の格子整合を行なってレーザダイオードを製作した。このダイオードについて偏光特性を中心に評価し，また，レーザダイオードから出た光を外部ミラーにより帰還し，とりわけ帰還偏光を制御したときの出力の変化が調べられた。また，帰還する光の位相効果による波長変化からコヒーレンシーの高い光を得る方法が示唆される。

室温において，GaAlAs の格子定数は GaAs よりも大きい，GaAlAsP として P 組成を制御することにより格子整合させることができる。図 1 は，成長用液相溶液中に投入する GaP の重量に対する GaAlAsP 成長層の格子定数変化を表わし，(004) 面で測定した X 線二結晶法による回折ピークの GaAs 基板との差である。ここで，10 秒は約 1.5×10^{-4} の歪に対応する。GaP の

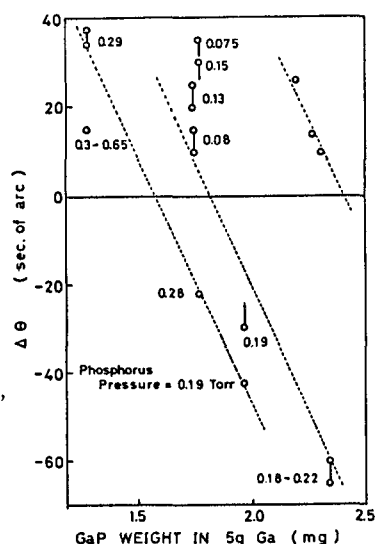


図 1 P 蒸気圧による成長層の格子定数変化

投入量を調節すればGaAsと格子整合することができる。さらに種々のP蒸気圧を印加して成長を行なうと、P蒸気圧の増加につれてGaAlAsP成長層の格子定数が小さくなる方向にラインが移動していく。

次にこのP蒸気圧の効果を調べるためにP蒸気圧を上げながら、あるいは下げながら連続的に成長を行ない格子定数の変化を測定した。(図2) P蒸気圧を印加せずにA点を得、次に2枚の連続成長によりB点はC点に移った。また次の連続成長によりD点はE点に移った。したがって、成長中に印加するP蒸気圧のGaAlAsP成長層格子定数への効果は可逆であるということになる。また、1枚目と2枚目の間のP蒸気圧を変えている時間は20分以内であるから、この効果が20分以内で及ぶことになる。

GaAs-GaAlAs系の液相成長ではAlが酸化され易く、再現性良く平坦な成長層を得るためには脱酸素プロセスの確立が必要である。そこで雰囲気ガスの質量分析を行ない、成長プロセスの改善を図った。N₂ Box内での作業の後に成長系内にボートをもどし、H₂で真空置換後にボートを昇温すると図3のマスペクトルピーク変化を得た。500℃程度までで、N₂、O₂、メチルアルコールと思われる脱ガスが終了するが、ボート温度の上昇に伴いCH₄の発生量が増していく。これは雰囲気ガスのH₂とボートのCとが反応してCH₄を発生すると考えられる。

成長ボートの改良とともに、成長条件を細かく押えることにより成長厚み分布の向上した成長が可能となり、前述の方法によりGaAs、GaAlAsPの格子整合をしながら四層成長を行ない、歪のほとんどない状態を実現し、(図4) レーザダイオードを製作した。

レーザダイオードの応用が進むにつれて、発振波長や電磁界分布の安定性が求められ、コヒーレンシーの高い光源が求められている。偏光モードについては、活性層が薄いものではTE発振し易いことが解析されているが、厚いものについては現在も議論されている。本研究でも、活性層が薄いほど電流に対して偏光度が急峻に増加するのが観測されている。図5は、TE方向に偏光した出力光の偏光パターンであるが、TE出力の増加に伴いTM出力の減少が見られる。これは注入されたキャリアがどのモードにカップリングするかという分配の効果を表わしている。I-L特性においてもTE、TMモード間の相互作用が観測され、他に光出力の立ち上がりにおけるTE、TMモードの相違などが観測された。

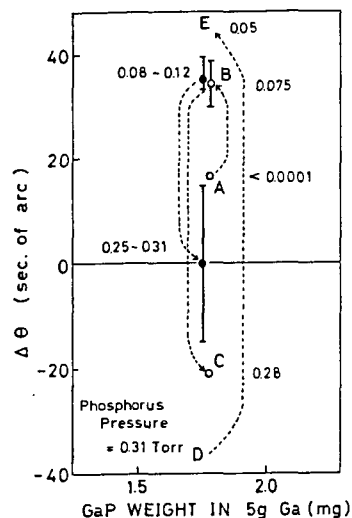


図2 P蒸気圧による成長層の格子定数の可逆変化

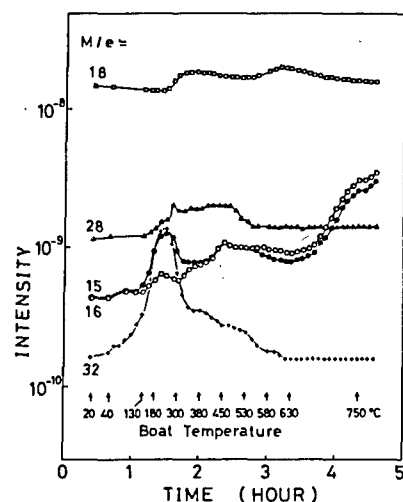


図3 カーボンボートの昇温に伴うマスペクトルの変化

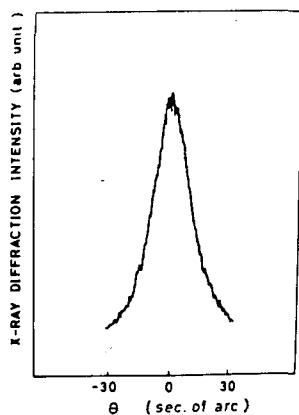


図4 格子整合したレーザダイオードのX線回析ピーク

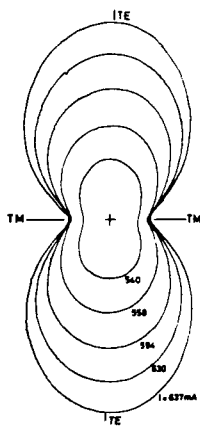


図5 偏光パターンの電流依存性

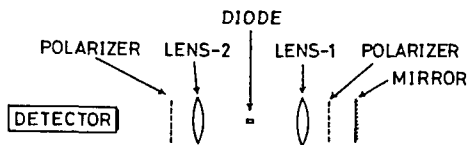


図6 外部帰還効果測定系

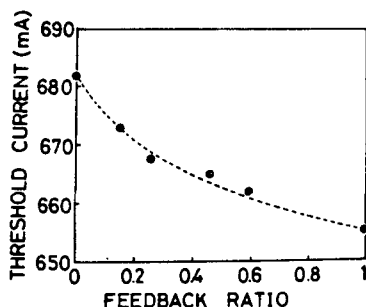


図7 閾値電流の帰還量依存性

今日、レーザダイオードを光源として用いた場合に、もどり光による出力不安定性の問題も起こっており、外部帰還効果についても研究されつつある。本研究では、レーザダイオードの出力光をレンズ、ミラーを介して再びダイオードに帰還し、その変化を調べるとともに帰還ミラーの直前に偏光板を挿入し、帰還する偏光を制御したときの出力の変化を調べる。図6に測定系の略図を示す。全光を帰還すると閾値電流が減少し、光強度が強くなる。帰還量に対して閾値電流をプロットすると、図7のように帰還量が増えるにしたがい、閾値電流の減少はゆるやかになっていく。次に、もともとTEで発振するダイオードにTMのみを外部帰還してTM発振を実現した。(図8) TM出力の増大に伴いTE出力の減少が見られ、外部帰還により注入キャリアの分配割合が変化した効果である。全光帰還、TE帰還では帰還量とともに偏光度も単調に増加しているが、TM帰還では帰還量に対して出力の偏光度をプロットすると、図9図のように帰還量が60%を越えてはじめてTM強度が急激に増加し、偏光度がTM側に変化していく。また、TM帰還でのTM、TEの出力波形を見ると、TMの増加とTEの減少が対応しておりそこでの振動も逆位相となって、モード間のキャリア分配の振動ということになる。また、TE帰還では立ち上がりからその効果が現われているのに、TM帰還のときには11

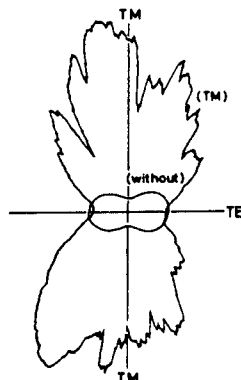


図8 TM帰還による偏光パターン変化

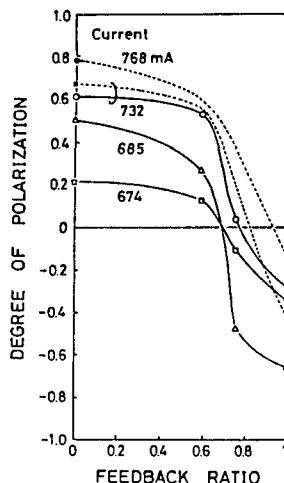


図9 偏光度のTM帰還量依存性

ns の時間遅れが観測された。

外部帰還による発振波長の変化を見ると、屈折率変化に起因した発振ピークや利得分布のシフトが観測され、また図10のように帰還前に5～6本の出力ピークをもっていたものが帰還により2本のピークが増大し、それに伴って他のピークは、エネルギーの上でのキャリア分配効果のために減少する。図11のような複合共振器を考えると、 L_R と $L_D = n \ell_D$ の相互関係により発振波長は特徴的になる。測定された実例を示すと、図12は $L_R = m L_D$ (m : 整数) に対応しており外部帰還によりどのピークでも増幅が起こっており、外部ミラーの移動に対応してどのピーク位置もシフトしている。図13は $L_R = (m \pm \frac{1}{2}) L_D$ に対応しているが、外部ミラーの移動に応じてひとつおきのピークの増減がおおよそ $0.2 \mu\text{m}$ 周期で生じており、計算値との一致が見られた。図14は、ダイオード共振波長と外部ミラーによる共振波長の相互関係をわかりやすく示すために、ダイオードとミラーをもっと近づけた場合を計算したものである。 $L_o = 720 \mu\text{m}$ とすると $1440 \mu\text{m}$ は $L_R = 2 L_D$ に対応するから、すべてのダイオード共振波長で強度が増加してしまい、 $1620 \mu\text{m}$ では $L_R = (2 + \frac{1}{4}) L_D$ に対応し、例えば $1619.8 \mu\text{m}$ のときには 8770\AA でのみダイオードと

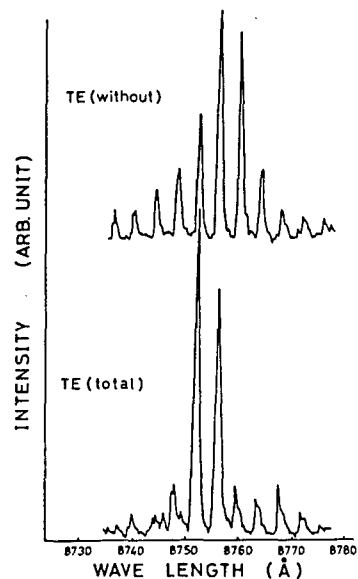


図10 全光帰還による波長変化

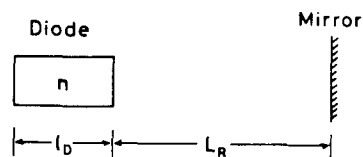


図11 ダイオードと外部ミラーによる複合共振器モデル

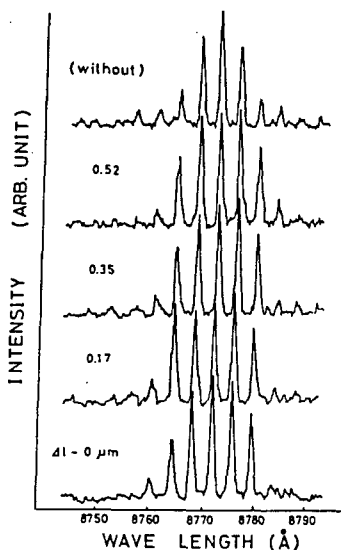


図12 外部ミラーの移動に対する発振波長変化(I)

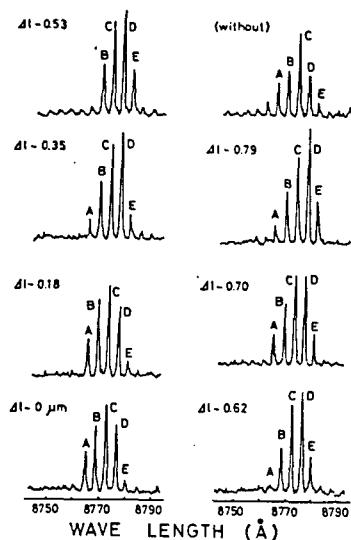
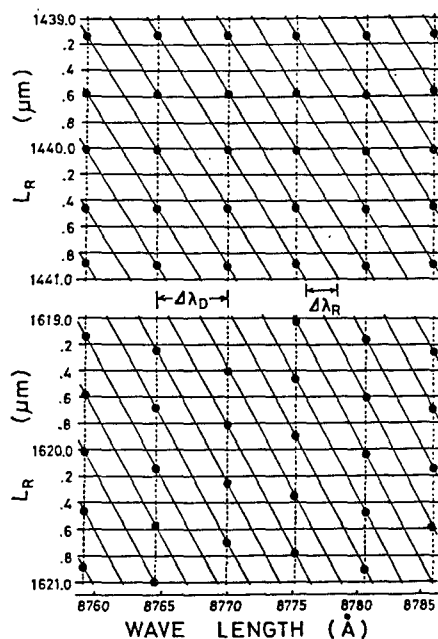


図13 外部ミラーの移動に対する発振波長変化(II)

外部ミラーによる共振波長が一致し、次に一致するのは 21 \AA 離れた所となる。ダイオードの利得分布を考慮すると、この 8770 \AA でのみ外部帰還効果が大きく働き、光強度が増しその両側の波長では、帰還の位相ずれのためとエネルギーの上での分配効果により出力が減少して、ますますこの 8770 \AA での出力が強まることになる。このように、外部ミラーの距離を調整すれば、外部帰還によりある波長のみを選択的に増幅し、コヒーレンシーの高い出力光を得ることができることになる。

図14 外部ミラーの移動に対する共振波長の変化



審 査 結 果 の 要 旨

半導体注入レーザは今後の通信用光源などとして重要であるのは当然であるが、最も有効にモードを固定する方法などは未だ未完成であり、化学量論的組成よりのずれを少なくして完全性を高め効率を向上させることも殆どやられていない。本研究は、化学量論的組成よりのずれを減少させる製造法を検討すると共に試作されたレーザダイオードの発光モードを測定して如何なる要因によって支配されるかを追求した結果をまとめたもので7章よりなる。

第1章は序論で現状と本研究の意義についてのべたものである。第2章より本論に入り、V族元素の蒸気圧を加えながら液相から $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}_{1-y}\text{Py}$ をヘテロエピタキシャル成長させ、砒素圧のみならず磷圧をも制御して蒸気圧によって格子定数が可逆的に変化すること、その時定数は20分以内であることを確かめている。結果として殆ど結晶格子の不整の観測されない四層ヘテロエピタキシャルレーザダイオードの試作に成功したことをのべている。第3章は均一な結晶膜の成長を得るための前処理に関する実験結果についてのべたもので、カーボンルツボの前処理は500℃以下でも酸素やメチルアルコールが分解排出されと考えられるが、遂にカーボンが水素ガスと反応してメタンガスが発生すると考えられる根拠をのべ、充分な排気は500℃程度で充分であるとしてかなり均一な結晶成長に成功している。

第4章ではこのようにして試作したレーザダイオードの構造をのべ、第5章ではそれらのレーザダイオードの偏光特性とそれが電流によって如何に変化するかについてのべている。更にパルス電流を流したときの時間変化についての測定結果を得ている。

第6章では各モードの間の相互作用について調べた結果をのべている。すなわち出力光の外部からの反射帰還によって出力光はつよく偏光率は大きくなる。外部帰還に偏光特性を入れれば更に偏光はつよまり、他のモードは減少することもあることを示した。TE発振していたダイオードでTE帰還は非常に効果的で時間応答は余り劣化しないことを示している。第7章は結論である。

以上要するに本論文は、蒸気圧制御しながら作る液相成長法と試作された半導体レーザダイオードの偏光モードの固定方法に関する基礎特性に新しい知見を加えたもので光エレクトロニクスに資するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。